

Секция «Искусственный интеллект и цифровая трансформация в бизнесе и
государственном управлении»

**Экосистема Industry 4.0 и умного производства: анализ построения и
применения цифровых технологий**

Научный руководитель – Гладышева Ирина Валерьевна

Цянъ Фэйфанъ

Аспирант

Российский университет дружбы народов, Экономический факультет, Москва, Россия

E-mail: 1042238239@pfur.ru

Введение Четвёртая промышленная революция, или «Индустрия 4.0», представляет собой крупнейший этап экономической трансформации общества, оказывая влияние на государственный сектор, бизнес, науку и гражданское общество. По словам основателя Всемирного экономического форума Клауса Шваба, мир стоит на пороге технологической революции, которая изменит жизнь, работу и взаимодействие людей. В отличие от предыдущих этапов индустриального развития, Индустрия 4.0 отличается масштабностью, комплексностью и глубокой цифровизацией производственных процессов, формируя экосистему интеллектуального производства и способствуя интеграции цифровых технологий в промышленность [1].

1. Построение экосистемы Индустрии 4.0 и интеллектуального производства

1.1 Сущность интеллектуального производства и модель трёх цепочек экосистемы

Интеллектуальное производство, являющееся ядром Индустрии 4.0, сочетает передовые цифровые технологии с трансформацией бизнеса в условиях цифровой экономики [2]. В международной практике Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) разработал стандарты и рамочные структуры для интеллектуального производства, а в отечественной практике это концептуализировано как «модель трёх цепочек интеллектуального производства». Данная модель формирует экосистему интеллектуального производства по трём ключевым измерениям: продуктовая цепочка, охватывающая информационные потоки на всех этапах жизненного цикла продукта, обеспечивая его качество, гибкость и устойчивость; производственная цепочка, включающая управление жизненным циклом производственных систем с упором на контроль и оптимизацию мощностей для поддержания управленческих решений; коммерческая цепочка, направленная на гибкое управление цепочками поставок через интеграцию информационных потоков между всеми участниками процесса.

1.2 Отображение информационных потоков и ключевых возможностей

В производственной пирамиде интеграция трех измерений играет ключевую роль в управлении цехами, оптимизации производственных мощностей и принятии корпоративных решений. Ранее эти аспекты рассматривались отдельно, однако сегодня ведущие страны активно продвигают их объединение, что отражается в таких инициативах, как промышленный интернет в США, Индустрия 4.0 в Германии и стратегия «Производство 2025» в Китае. Для усиления интеграции вводится концепция цифровой главной линии. Благодаря такому подходу интеллектуальное производство получает преимущества в виде сокращения циклов инноваций, повышения эффективности цепочек поставок и увеличения гибкости производственных систем, что, в свою очередь, позволяет лучше адаптироваться к рыночному спросу и индивидуализированным требованиям.

2. Применение цифровых технологий в производстве

С развитием Индустрии 4.0 цифровые технологии кардинально меняют традиционные производственные модели, повышая эффективность, гибкость управления цепочками поставок, а также способствуя персонализированному производству, экономии ресурсов и экологической устойчивости [3]. Взаимодействие таких технологий, как 3D-печать, цифровые двойники, облачная PLM, MES/MOM,

моделирование, цифровой контур и параллельное проектирование, демонстрирует их влияние на кастомизацию, эффективность, устойчивость и управление цепочками поставок. Например, 3D-печать способствует персонализированному производству и снижает отходы, цифровые двойники улучшают процессы за счет мониторинга в реальном времени, а облачная PLM повышает гибкость. Эти технологии взаимно дополняют друг друга, способствуя переходу к интеллектуальному производству и цифровой трансформации. В дальнейшем статье рассматриваются конкретные области их применения.

2.1 3D-печать и аддитивное производство Аддитивное производство, представленное 3D-печатью, позволяет создавать объекты путем послойного нанесения материала на основе цифровой модели, охватывая широкий спектр материалов – от пластика до металлов, а также применяясь в биоинженерии, например, для печати мягких тканей. В отличие от традиционных методов обработки, 3D-печать снижает потери сырья, сокращает производственные затраты и повышает гибкость производства, особенно в кастомизированных решениях. Развитие технологий металлической 3D-печати способствует быстрому росту отрасли, влияя на управление цепочками поставок, контроль запасов и оптимизацию затрат [4].

2.2 Эволюция концепции проектирования и управления производственными процессами Цифровая трансформация радикально изменяет принципы проектирования в промышленности, смещая фокус с производства и сборки на оптимизацию всей цепочки поставок. Внедрение параллельного проектирования (Concurrent Engineering, CE) синхронизирует разработку, производство и управление поставками, устраняя узкие места последовательного проектирования. Методика проектирования с учетом управления цепочкой поставок (Design for Supply Chain Management, DFSCM) усиливает взаимодействие между инженерами и логистами, повышая адаптивность цепочки поставок [5]. Одновременно системы управления производством (MES) эволюционируют в системы управления производственными операциями (MOM), которые интегрируют контроль качества, управление запасами и обеспечивают связь с цепочками поставок в реальном времени, улучшая координацию производственных процессов [6].

2.3 Цифровые двойники и технологии моделирования Технология цифровых двойников обеспечивает динамическое моделирование физических активов, продукции и производственных процессов, позволяя мониторить их в реальном времени и оптимизировать операции. Объединяя данные на всех этапах жизненного цикла продукта — от проектирования до сервисного обслуживания, — цифровой контур предоставляет предприятиям мощные инструменты для принятия решений. Важную роль в интеллектуальном производстве также играют технологии моделирования, используемые в проектировании высокоточных изделий и оптимизации процессов, что позволяет заранее выявлять потенциальные риски и неопределенности, способствуя предиктивному обслуживанию и непрерывному улучшению [7].

2.4 Интеграция облачной PLM и Интернета вещей Применение цифровых технологий в управлении жизненным циклом продукции (PLM) обеспечивает обновление и обмен данными в реальном времени на всех этапах его развития. Современные облачные PLM-системы поддерживают процессы разработки, проектирования и производства, а также интегрируются с системами управления цепочками поставок, создавая единую цифровую экосистему. Этот подход является ключевым элементом цифровой трансформации промышленности, обеспечивая устойчивую основу для дальнейшего развития [8]. Заключение Индустрия 4.0 формирует экосистему интеллектуального производства, основанную на глубокой интеграции и координации продуктовой, производственной и бизнес-цепочек. Цифровая трансформация, используя передовые технологии, такие как 3D-печать, цифровые двойники и облачная PLM, способствует переходу промышленности к интеллектуальному производству. Это не только повышает эффективность и гибкость цепочки поставок, но и усиливает конкурентные преимущества предприятий. В перспективе дальнейшее развитие и интеграция цифровых технологий

сделают промышленный сектор еще более эффективным, кастомизированным и устойчивым.

Источники и литература

- 1) Butt, J. A Conceptual Framework to Support Digital Transformation in Manufacturing // Designs. 2020. Vol. 4. № 3. P. 17. <https://doi.org/10.3390/designs4030017>
- 2) Gomide, P., Patricio, R., Gancho, S. Human-Centered Design Approaches to Industry 4.0 Challenges // The International Journal of Design Management and Professional Practice. 2024. Vol. 19. № 1. P. 1.
- 3) Jiao, R. et al. Design Engineering in the Age of Industry 4.0 // Journal of Mechanical Design. 2021. Vol. 143. № 7. P. 070801.
- 4) Kretschmer, T., Khashabi, P. Digital Transformation and Organization Design // California Management Review. 2020. Vol. 62. № 4. P. 86–104.
- 5) Lasi, H. et al. Industry 4.0 // Business & Information Systems Engineering. 2014. Vol. 6. № 4. P. 239–242.
- 6) Nguyen Ngoc, H. et al. Human-Centred Design in Industry 4.0 // Journal of Intelligent Manufacturing. 2022. Vol. 33. P. 35–76.
- 7) Rossini, M. et al. Being Lean: How to Shape Digital Transformation // Journal of Manufacturing Technology Management. 2021. Vol. 32. № 9. P. 239–259.
- 8) Savastano, M. et al. Contextual Impacts of Digital Transformation // Sustainability. 2019. Vol. 11. № 3. P. 891. Интернет-ресурсы: - NIST Framework for Smart Manufacturing Systems. URL: <https://www.nist.gov/> - World Economic Forum: Fourth Industrial Revolution. URL: <https://www.weforum.org/>

Иллюстрации

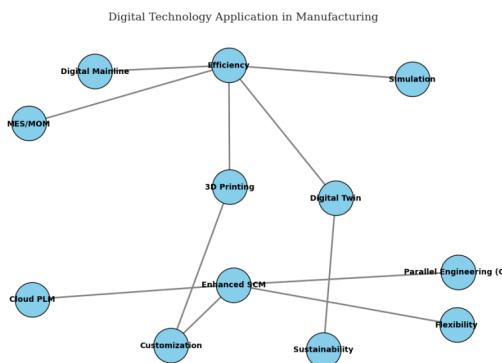


Рис. : Схема применения цифровых технологий

Таблица 1. Сравнительный анализ типичных национальных стратегий

Страна/Стратегия	Основной путь	Ключевые области
Индустрия 4.0 (Германия)	Кибер-физические системы (CPS) и автоматизация производства	Интеллектуальные заводы, стандартизированные интерфейсы, подключение оборудования
Промышленный интернет (США)	Большие данные и облачные платформы	Прогнозное техническое обслуживание, промышленный IoT (IIoT)
Производство 2025 (Китай)	Независимые инновации и модернизация цепочки поставок	Высокотехнологичное оборудование, промышленное программное обеспечение, экологичное производство

Рис. : Таблица 1. Сравнительный анализ типичных национальных стратегий

Таблица 2. Составные элементы экосистемы умного производства, потоки информации и ключевые возможности

	Описание	Потоки информации	Ключевые возможности
PLM	Управление жизненным циклом продукта — это процесс управления полным жизненным циклом продукта, начиная с его разработки, проектирования и производства, до обслуживания и утилизации произведённого продукта.	Двунаправленный информационный поток в жизненном цикле продукта и производственной системы.	Качество, гибкость и устойчивость.
SCM	Управление цепочкой поставок — управление потоком материалов, готовой продукции и соответствующей информации между поставщиками, компаниями, дистрибьюторами и конечными потребителями в пределах цепочки поставок.	Двунаправленный информационный поток между заинтересованными сторонами цепочки поставок — производителями, клиентами, поставщиками и дистрибьюторами.	Гибкость, качество, производительность.
DFSCM	Дизайн, ориентированный на управление цепочкой поставок — проектирование продуктов с целью использования и усиления управления цепочкой поставок.	Двунаправленный информационный поток между деятельностью по управлению цепочкой поставок и деятельностью проектировщиков.	Качество, гибкость.
CPI	Непрерывное улучшение процессов — набор постоянных системных инженерных и управленческих действий, направленных на выбор, настройку, внедрение и оценку процессов производства продукта.	Поток информации от систем реального времени производства к процессам проектирования.	Качество, устойчивость, производительность.
CCX	Непрерывная отладка — процесс диагностики, прогнозирования и улучшения работы производственной системы.	Двунаправленный информационный поток между производственными инженерными и операционными действиями.	Производительность, гибкость, устойчивость, качество.
DFMA	Дизайн, ориентированный на производство и сборку — проектирование деталей, удобных для производства, и продуктов, удобных для сборки.	Поток информации от инженерных и операционных действий к деятельности по проектированию продукта.	Производительность, гибкость.
FMS/RMS	Гибкая производственная система / Система для адаптивного производства — машины, которые гибки и могут быть настроены для производства новых типов продукции или изменения объёмов без изменения процесса.	Поток информации от деятельности по проектированию продукта к инженерной деятельности по производству.	Гибкость.
Manufacturing Pyramid	Иерархическая структура существующей производственной системы, описанная через ERP, MOM и трёхуровневую производственную пирамиду	Двунаправленный информационный поток между действиями ERP, MOM и контрольными системами.	Качество, гибкость, производительность и устойчивость.
Fast Innovation Cycle	Быстрое улучшение цикла внедрения новых продуктов (New Product Introduce, NPI), основываясь на данных, собранных из использования продукта, и тенденциях, полученных от обратной связи по идеям продукта	Поток информации от использования продукта к проектированию продукта.	Качество, гибкость.

Рис. : Таблица 2. Составные элементы экосистемы умного производства, потоки информации и ключевые возможности